

## 智能跟随移动机器人的研究与应用前景综述

### Overview of research and application prospect of intelligent following mobile robot

谢嘉, 桑成松, 王世明, 李永国, 赵雯琦

XIE Jia, SANG Cheng-song, WANG Shi-ming, LI Yong-guo, ZHAO Wen-qi

(上海海洋大学 工程学院, 上海 201306)

**摘要:** 智能跟随移动机器人是一种无轨迹跟随行驶, 具有自动行驶、路径规划、避障定位等特点, 逐渐成为移动机器人领域中研究的热点之一, 其发展为移动机器人、定位导航研究等提供参考和技术支持。为了更好地实现助老助残, 搬运、服务特殊群体, 拓宽传统机器人的研究空间和领域等, 从智能跟随移动机器人的国内外研究现状、研究存在的问题、研究方法等方面, 对智能跟随移动机器人研究进行阐述, 介绍几种不同跟随移动机器人和跟随技术, 描述其跟随技术工作原理和存在的问题, 归纳和分析智能跟随移动机器人关键技术问题和相应研究方法。得出智能跟随移动机器人研究仍然存在许多不足, 面对复杂多变的环境难以自适应, 难以准确判断特定目标。容易出现程序化记忆, 犯重复性问题, 不能通过经验解决问题, 缺少自我学习和推理能力, 最后总结出智能跟随移动机器人关键技术和未来研究方向。智能跟随移动机器人研究扩大了移动机器人的研究空间和应用领域, 在农业、无人驾驶、日常生活等方面有广阔的应用前景。

**关键词:** 移动机器人; 智能跟随; 图像处理; 跟随技术

**中图分类号:** TP242.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-0134(2020)10-0049-07

## 0 引言

当今机器人技术突飞猛进, 机器人的发展渗透到军事领域, 工业领域以及航天飞行领域, 在日常生活和社会的各个层面也有着广泛的应用, 机器人也在朝着高度智能化方向迈进, 智能跟随移动机器人是一种在复杂动态环境下能够捕捉目标物体, 实时追踪的机器人。尽管跟随机器人研究起始上个世纪六十年代, 至今已经有大量研究成果, 但稳定性差, 信号易受干扰、图像处理技术不高, 进而工作效率低。移动机器人的功能要达到跟随服务、自主定位、判断识别、自动报警等多项功能, 初步实现智能跟随基础模型, 具有较大的研究空间。为了更好地实现助老助残, 搬运、服务特殊群体, 拓宽传统机器人的研究空间和领域等, 了解智能跟随机器人的应用前景和相关关键技术的研究, 本文将结合文献知识描述智能跟随移动机器人国内外研究状况、技术水平等方面, 对跟随移动机器人研究现状进行论述, 探讨智能跟随移动机器人技术研究中的难点、目前存的问题和应用前景。

## 1 智能跟随移动机器人的研究状况

移动机器人的发展是从20世纪60年代开始, 智能跟

随机器人作为移动服务机器人的雏形, 随着计算机信息技术的不断发展完善, 跟随系统融合机械学、通信、自动控制和传感器等多项技术, 其系统不断得到突破和应用, 以美国、日本、欧洲为首的移动机器人自主导航技术得到发展和突破, 已经应用到航天勘测、生活服务、生物医疗等各项领域。如图表1全球机器人发展状况。

表1 全球机器人发展状况

机器人	日本	韩国	欧盟	美国
工业机器人	极为突出	一般	很突出	一般
仿人型机器人	极为突出	极为突出	一般	一般
家用机器人	极为突出	极为突出	一般	一般
服务机器人	突出	极为突出	突出	突出
生物医疗机器人	一般	一般	很突出	很突出
国防航空机器人	一般	不突出	突出	极为突出

移动机器人是机电一体化技术最具代表性的装备, 是多个国家机器人领域研究的重点, 由图表1全球机器人发展状况可知(数据来源机械工程学报), 日本、韩国、美国是机器人强国, 在多种机器人行业领域中都有

收稿日期: 2019-07-14

基金项目: 国家海洋局可再生能源专项资金项目(SHME2013JS01); 国家自然科学基金项目(51876114)

作者简介: 谢嘉(1969-), 男, 陕西人, 副教授, 博士, 研究方向为机器人和机电一体化技术。

着突出的研究，其中日本在工业、仿人型以及家用机器人上的研究突破尤为突出<sup>[1]</sup>。美国在研究机器人领域中是最早的一个国家，在生物医疗，服务、航空领域比较突出，韩国是一个后来居上的国家，在政府的支持下，韩国机器人领域发展迅速，且在家用、服务体和仿人型机器人最为突出。在服务机器人领域，美国、韩国、日本以及欧盟都比较突出。

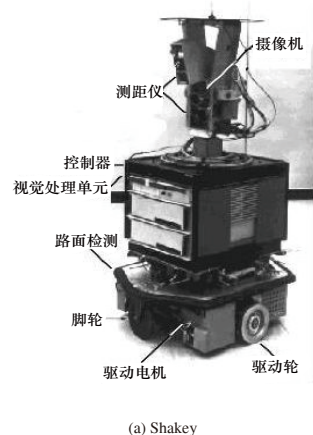
## 1.1 国外智能跟随移动机器人的研究现状

美国最早研发出一款“Shakey”机器人，如图1(a)所示（图片来源于电子产品世界），Shakey机器人包含视觉处理技术、传感器测距技术，可以感知外界周围环境，在某种程度上，Shakey具备了智能化<sup>[2]</sup>。但在当时，传感器技术、视觉技术还不够成熟，Shakey机器人工作不够稳定。在1991年，美国卡内基梅隆大学将研究视觉跟随技术作为研究重点，并且把视觉图像处理技术应用到无人机技术上<sup>[3]</sup>。在1996年，卡内基梅隆大学研发出一款新的视觉定位系统，通过算法的处理、图像的分析、移动目标位置和速度的计算，实现对移动目标的定位和追踪。同年，在瑞典国家发展委员会的资助下，Nordlund等人对移动目标跟踪技术进行研究，并将此技术应用到机器人领域内。在2005年，美国研发的首款四足机器人Big Dog问世，如图1(b)所示，（图片来源于军用机器人），“大狗”机器人身上有多个传感器，利用传感器技术和视觉技术，实时追踪位置和避障，但传感器易受无线信号干扰，无法精准跟随。在2013年，美国研发出一款球童机器人CaddyTrek，如图1(c)所示，（图片来源于网络）在底部和正面都装有传感器，利用传感器技术，实时跟随用户，但CaddyTrek机器人价格昂贵，难以普及。美国是最早研究机器人的国家，随着高新科技的发展，美国研发机器人的技术更加全面、先进，美国机器人的技术也一直处于世界领先地位<sup>[4]</sup>。

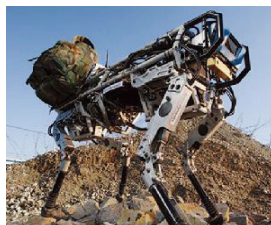
日本号称“机器人王国”，在研究机器人上的技术不断改进提升，2016年，日本研发的Atlas机器人具有雷达定位、立体摄像机，实现自主定位导航，如图1(d)所示，（图片来源于千家网AI观察），2017年，日本公司WHILL和松下电子合作研发出自动驾驶机器人WHILLNEXT。如图1(e)所示，（图片来源于机器人网），WHILLNEXT机器人也被称为轮椅机器人，搭载图像识别，传感器定位，通过移动距离和方向计算所在位置。Atlas和WHILLNEXT两款机器人在狭窄的空间和光线暗的环境具有局限性。

2017年意大利一名科学家发明了Gita机器人如图1(f)所示（图片来源于网络），通过摄像头识别定位，传感器避障，GPS追踪，跟随在用户后面。但在大量实验过程中Gita机器人方向定位存在错误，且样品不完整，需要用户搭配具有摄像头的皮带，2012年西班牙发明一款跟随行李箱机器人，如图1(g)所示（图片来源于

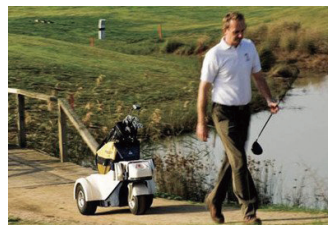
网络），用蓝牙传感器与手机蓝牙相连，通过控制器控制电机速度实现跟随，目前跟随行李箱应用广泛，对于复杂环境，稳定性差，跟随距离有限。



(a) Shakey



(b) Big dog



(c) Caddy Trek



(d) Atlas



(e) WHILLNEXT



(f) Gita



(g) 跟行李箱

图1 国外各种跟随移动机器人

## 1.2 国内智能跟随移动机器人的研究现状

我国在跟随移动机器人这方面研究的比较晚，随



随着我国高新产业的发展，国家大力投资在机器人项目和创新项目上，尽管我国移动机器人技术在商业化和产业化还有很大的差距，经过多年的努力，我国在机器人行业领域中取得了巨大突破，在1999年，国内知名高校和研究院，例如清华大学、中国科学院都已经对目标追踪技术进行探讨研究，在2001年，以清华大学为首的高校研发出一套视觉侦查系统，处理速度达到每秒12帧，尽管当时的分辨率只有 $284 \times 288$ ，该系统固定在车载云台上，通过无线通讯技术、图像信息处理技术对目标物体检测追踪。2005年中国科学院研发出一款视觉伺服机器人系统，利用图像处理技术，可以对目标物体速度不到0.3m/s的物体实时追踪。

在2013年“嫦娥三号”成功着陆月球，利用导航自制系统和大量传感器，成功在月球上行驶勘测，采集样品，将采集得到的样品进行分析，得到大量的科学数据。在2018年，“嫦娥四号”也成功登陆月球，如图2(a)所示（图片来源新京报），嫦娥四号具有自主导航巡视和避障功能，是第一个踏上月球背面航天器，作为登月机器人，嫦娥四号是中国航天领域的一座里程碑。在2015年，百度公司自主主导与研发国内首个在城市道路和高速上无人驾驶，也称为轮式机器人，通过多种传感器和雷达定位等多项技术实施定位分析<sup>[5]</sup>，如图2(b)所示，（图片来源于百科），根据文献[7]浙江工业大学根据视觉传感器低成本，输出维度高的特点设计出设计研发出一款基于视觉目标跟随机器人，但易受环境温度影响。如图2(c)所示（图片来源于文献[6]）。

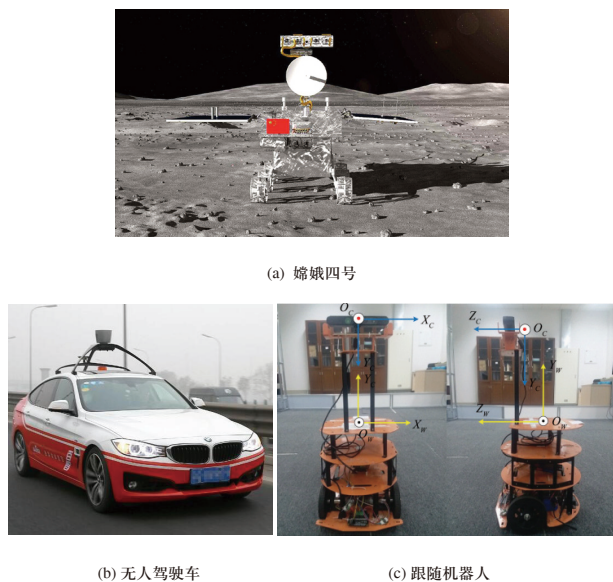


图2 国内各种移动机器人

近年来，我国研发机器人定位跟随技术的企业越来越多，已有相对成熟的定位跟随技术，以图像处理作为

核心技术，同时，配合定位系统和传感器技术。智能跟随移动机器人融合多种技术可以自主感知外界环境、识别判断、避障跟随和路径规划<sup>[7]</sup>，帮助解决自主移动的难题，完成复杂的任务。

## 2 智能跟随移动机器人常见跟随技术现状

在智能跟随移动机器人系统中，自主跟随技术是一项核心技术，是跟随移动机器人中的重点和难点问题，在跟随移动机器人的发展中，常见的自主跟随技术方法有以下几种。

### 2.1 雷达跟随

雷达跟随是指连续的跟踪捕捉特定目标，精准测量特定目标的方位，并不断输出特定目标位置（仰角、斜距、径向速度等）。如图3雷达跟随系统组成框图。

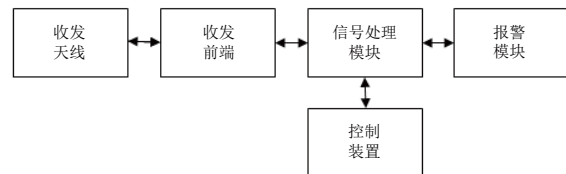


图3 雷达跟随系统组成框图

收发天线安装在移动机器人前端，向周围发出发射信号，并接受发射信号，接受的信号传输到收发前端，收发前端负责信号调制，调制后的信号传输到信号处理模块，信号处理模块计算收发天线与目标之间的距离和相对速度，信号经过处理后再传输到控制模块，由控制模块装置进行自动操作，控制电机输出转速，调节车速，与目标物体保持一定距离，实现跟随功能。若信号处理后计算的数据与设定的数据不在误差范围内，就会启动报警模块。

雷达跟随技术是通过测量与目标物体之间的距离，适用于近距离跟随，但由于单脉冲雷达只能测量距离、角度，不能判定被测物体类别、几何形状、性质，不确定性太大，随着外界环境的变化和目标物体的移动，导致目标失踪，对雷达接收机动态捕捉范围有很大要求。

### 2.2 红外跟随

红外跟随技术是指红外传感器发出的红外信号和返回的反射强度不同的原理，根据返回的信号识别周围环境变化，是集接收和发射于一体，如图4红外跟随系统组成框图<sup>[8,9]</sup>。

红外传感器安装在移动机器人前方，传感器发出和接收红外辐射，产生的电信号经过模拟处理，处理后信号模数转换，将数字信号传给单片机进行技术处理，控制相应的伺服电机，执行追踪目标。

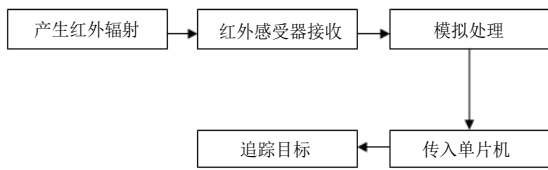


图4 红外跟随系统组成框图

红外跟随技术不会受到电磁辐射干扰，具有高精度测角，检测距离可根据要求调节，但只有方位角和高低角<sup>[10]</sup>，检测最小距离太大，穿透力差，易受光线影响。

## 2.3 图像视觉跟随

图像视觉跟随技术是指在机器人前端安装一个捕捉图像信息的摄像头，用图像处理技术和算法，将采集的图像信息和系统设置的参数比对，达到设定值，机器人可自主识别跟踪物体<sup>[11]</sup>，如图5图像视觉跟随系统框图<sup>[11]</sup>。

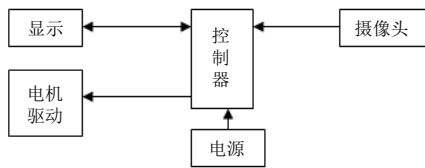


图5 图像视觉跟随系统框图

首先摄像头作为图像采集传感器，将采集的图像进行处理，采取视觉定位，获取跟随目标与移动机器人的距离，获得距离与期望距离比较，机器人控制系统根据获取的偏差控制电机转速，从而实现自动跟随。

图像视觉跟随系统能够准确、快速识别特定的跟踪物体，图像视觉技术可以实时获得目标物体的位置、姿态和速度，但该技术图像处理量大，一般计算机无法完成运算，对于多个相似的图像信息，无法准确判断。

## 2.4 超声波跟随

超声波跟随技术是指测量超声波与射频信号之间的时间差，从而计算发射点和需要跟随节点之间的距离<sup>[12]</sup>。如图6超声波跟随系统框图<sup>[12]</sup>。

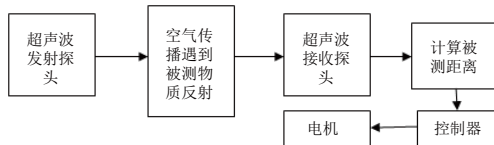


图6 超声波跟随系统框图

在移动机器人上装两个超声波发射探头，移动目标身上带有接收探头，超声波发射器发出信号同时计数器计数，在空气中传播遇到被测物质反射到接收超声波

探头，同时计数器计时停止，通过算法，计算出被测距离，最后由控制器控制电机转速，实现跟随。

超声波跟随技术制作方便，成本低，在雨雪雾天气环境条件下，超声波穿透能力会增强，但超声波会随着距离的增加而变弱，所以超声波测距短，精度差，适用范围较小。

## 2.5 蓝牙跟随

蓝牙跟随技术是指蓝牙与蓝牙之间构建的无线网络，微控制器处理从协议栈中获得数据，进行比对，做出相应指令<sup>[13]</sup>，如图7超声波跟随系统框图<sup>[13]</sup>。

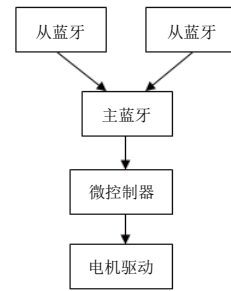


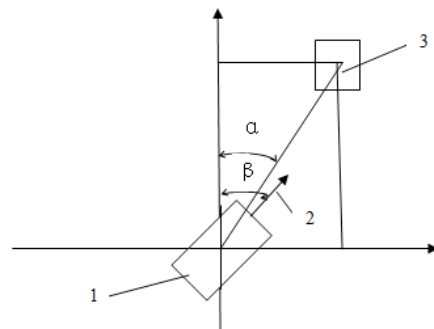
图7 超声波跟随系统框图

将主蓝牙安装在机器人上，用户持有从蓝牙，并与主蓝牙配对，主蓝牙从协议栈中获取从蓝牙中的RSSI（接受信号强度指示）数据，将得到的RSSI数据进行滤波，得到稳定的两组数据，比较两组数据做差，差值经过PID算法加到电机，进而控制电机的转速。

蓝牙跟随通过蓝牙之间的一对一匹配，具有唯一性和稳定性，但是蓝牙跟随技术耗电快，距离小。

## 2.6 GPS跟随

GPS跟随技术就是利用GPS信息计算出跟随目标相对于移动机器人之间的距离利用电子罗盘传感器获得移动机器人所在方向，利用这些信息，控制移动机器人自动跟随<sup>[14]</sup>，如图8GPS跟随系统原理图<sup>[14]</sup>。



1.跟随移动机器人；2.车头指向；3.跟随目标

图8 GPS跟随系统原理图

系统在移动机器人和目标物体分别安装GPS定位模块,实时获得移动机器人和目标的位置信息,并在移动机器人上安装电子罗盘模块,实时获得机器人车头所指向位置,及控制机器人的方向,使电子罗盘检测的方向角度值 $\beta$ 与设计角度 $\alpha$ 在误差内内相等,使机器人对准目标方向,进而完成自动跟随。

GPS跟随系统水平定位精度高,工作稳定,成本低,但随着距离的增加,测量的数据精度下降。

### 3 智能跟随移动机器人研究中的关键问题及方法

智能跟随移动机器人的形式多样,应用技术相对成熟,但智能跟随移动机器人稳定性和自主性差,在多变的人为构造的环境,移动机器人运行不稳定,难以判断目标物体和干扰物,需要人为干预解决目标识别错误的问题,智能跟随移动机器人的研究目前还有许多问题未被解决,包括复杂环境、控制系统、和人机接口等其关键问题主要体现以下几方面。

1) 智能化水平低: 依靠程序化记忆,容易犯重复动作,不能通过经验积累消除问题; 2) 人机交互困难: 人和机器系统没有公共的语言表达; 3) 环境的表示: 移动机器人通常在非结构化环境中以自主形式运行,环境的变化会影响跟随系统的精度和判断,因此需要对环境有较为准确地描述; 4) 适应于作业环境的机械本体结构: 易于控制、灵活安全、结构可重构的移动载体是智能跟随移动机器人设计研究的关键,需要充分考虑结构设计; 5) 目标识别和障碍物检测: 当出现目标和障碍物相似时,智能跟随机器人难以作出判断和识别;

为了更好地规避难题,解决跟随机器人的关键技术,提高智能跟随机器人在复杂环境中的感知和判断能力,未来研究的关键技术和研究方向主要包括以下五点:

1) 控制模块: 了解智能跟随移动机器人的应用场景和控制技术的优缺点,设计执行规划执行器,结合运动学、单片机技术、信息和通信等多项技术,对设计出的结构进行运动分析,对存在误差的算法优化设计。通过传感器等多种技术融合解决程序记忆的问题,改善异常情况下的鲁棒性,提高抗干扰能力,使得机器人具“经验和常识”和记忆学习特性。

2) 人机交互: 研究并设计各种人机接口,如语音、姿势、视觉跟踪、头部跟踪、生物识别等,满足不同用户的需求和应用任务。

3) 机器学习: 机器学习算法的出现推动了机器人的发展,可将遗传算法、强化学习应用到智能跟随移动机器人的系统中,使其具有类似人的学习能力,以适应

日益复杂的、不确定和非结构化的环境。

4) 模型模块: 详细分析机器人的运动机构,通过定性定量描述,建立数学模型,用三维建模和运动仿真软件运动学分析,对跟随机器人的关节受力等各方面的分析,得到合理的参数和合适的机械传动。根据机器人的非完整约束特点,研究机器人的水平方向移动,圆周转动和行走时自转的三个基本运动单元。

5) 识别判断: 借助多传感器信息融合技术和图像处理技术,减少相近障碍物和目标不能识别的情况。

综上,智能跟随移动机器人的关键问题主要包括精度、记忆能力、推理能力和感知外界能力,其未来研究主要方向包括自动控制、记忆、推理和规划,信息融合技术感知外界环境等。

### 4 智能跟随移动机器人的应用前景

随着信息技术、图像处理、控制技术、位置姿态等技术不断改善,智能跟随移动机器人的稳定性和实用性不断提升,在国外,机器人的领域已经从航天航空、勘测、工业生产等制造领域的应用不断向服务领域发展。目前世界人口老龄化急剧上升,劳动力衰减,智能跟随移动机器人作为服务机器人的一种雏形可以助残、服务特殊人群,缓解人口老龄化的压力,在未来,智能跟随移动机器人的应用领域不断扩大,服务对象不断增加<sup>[15]</sup>。如图9所示,2013~2018全球服务机器人市场规模增长趋势;(资料来源于IFR)。

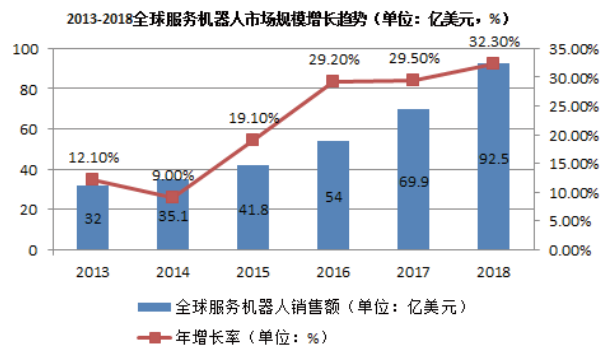


图9 2013~2018全球服务机器人市场规模增长趋势

如图1可知,在2013~2018年,全球服务机器人销售额在稳步增长,年增长率也处于增长趋势,可见国外对服务机器人的需求在不断增加,有良好的市场前景。由于服务机器人的出现将会更好地服务人类和应用多个场合,服务机器人渗透日常生活中,在出行、工作等方面给人民的生活带来了便捷,在生产加工领域中提高了效率,智能跟随移动机器人作为服务机器人的出现,识别和跟随使用者,帮助用户搬运物品,协助特殊人群完成任务,解放使用者的双手,因此,在国外,智能跟



随移动机器人的有广阔的应用前景，在未来国外也将会加大对机器人的投资，增加智能跟随移动机器人的数量，提高智能跟随移动机器人的稳定性、精确性。

近几年我国移动机器人行业市场发展趋势较好，政府不断出台新的政策和措施，提高服务机器人的产量，开拓服务机器人的市场，促进服务机器人产业的产品化，推动服务机器人的应用，如图10所示，2012~2023年国内机器人产业发展前景；（资料来源前瞻网）。

时间	发布单位	政策名称	内容
2006.02	国务院	《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》	将智能机器人列入前沿技术中的先进制造技术。
2016.03	国务院	《“十三五”规划纲要》	大力发展工业机器人、服务机器人、手术机器人和军用机器人。
2016.03	工信部、发改委、财政部	《机器人产业发展规划(2016-2020年)》	自主品牌工业机器人年产量达10万台，服务机器人年销售收入超过300亿元。
2016.07	国务院	《“十三五”国家科技创新规划》	下一代机器人技术研究，工业机器人实现产业化，服务机器人实现产品化，特种机器人实现批量化应用
2016.09	工信部、财政部	《智能制造发展规划(2016-2020年)》	促进服务机器人等研发和产业化。
2016.12	国务院	《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》	推动专业服务机器人和家用服务机器人应用。
2016.12	工信部、发改委、认证委	《关于促进机器人产业健康发展通知》	开拓工业机器人应用市场，推进服务机器人试点示范。
2017.08	科技部	《“智能机器人”重点专项2017年度项目申报指南》	围绕智能机器人基础前沿技术、新一代机器人、关键共性技术、工业机器人、服务机器人、特种机器人6个方向，启动42个项目，经费约6亿元。
2017.12	工信部	《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018-2020年)》	到2020年，只能家庭服务机器人、智能公共服务机器人实现批量生产及应用，医疗康复、助老助残、消防救灾等机器人实现样机生产，完成技术与功能验证，实现20家以上应用示范。

图10 国内机器人产业发展前景

图10中表明我国的服务机器人的市场规模不断增加，服务机器人的研发力度和产业化不断提高，预计到2020年，大批服务机器人实现样机生产。我国在服务机器人方面大规模生产意味着有良好市场需求和应用场景。智能跟随移动机器人作为服务机器人的一种，从改善人类生活方式、助老助残、提高生活质量和效率为切入点，不断满足生产生活需求，具有良好的应用前景。在未来，科技的快速发展和人民生活水平的提高，对服务机器人的要求越来越高，不仅要求服务机器人朝着多功能，智能化的发展，也要求朝着经济型、效益型、实用性的发展，因此智能跟随移动机器人的应用前景也将受到青睐。

智能跟随移动机器人的可用来助老助残、搬运、运输等工作，其研究设计的现实意义重大，智能跟随机器人技术的不断完善，除了应用于生活中，在其他领域也将广泛应用，例如美国研发的苗圃机器人HV-100在农业跟随播种，文献[16]中医疗跟随机器人的应用。智能跟随移动机器人技术的发展，涉及传感器技术、图像处理分析和GPS技术等多学科交叉融合，是机电一体化

技术的综合应用，其发展为移动机器人、定位导航研究等提供参考和技术支持，也推动汽车无人驾驶的发展，扩大机器人技术研究空间。

跟随移动机器人除了要在跟随技术上研究突破，作为一台移动机器人，其移动方式也是研究的一项重点。根据当前移动机器人的运动结构和工作环境，移动机器人主要运动方式分为轮、履、足以及混合式配合运动。结合机构的特点分别对各种类型装置做出简要的说明，并分析其优缺点。

### 1) 履带式行走机构

履带式行走机构类似于装甲坦克，其结构原理简单，应用范围广泛，履带与路面接触行驶，重心波动较小，运动平稳，适合用于各种复杂地面，但履带用于爬楼装置存在不足，重量大，操作困难，移动时不灵活，容易打滑并且转弯不方便，对地面造成很大的磨损，在日常的生活生产中难以推广使用。图11(a)为履带式行走机构。（图11图片均来源沐风网）。

### 2) 轮组式行走机构

轮组式行走机构是由多个轮子组成一个行星轮而成，根据组成轮子的个数，可将轮组结构分为单轮、双轮和多轮<sup>[17]</sup>，单轮组在爬越式运动具有波动，容易在台面前沿打滑，双轮组三轮组是通过轮子的交替替换，装置前进行驶，多轮组可用于各种复杂多变的人为构造环境，但是轮组式行走机构重心波动很大，不能保证重心平稳，运动平衡性差，正常情况下，依然需要多个轮子在地面行驶，增加了轮子的磨损，减少了寿命。图11(b)为轮组式行走机构。

### 3) 足式行走机构

足式行走机构是一种仿人体运动机器人，通过机械连杆机构和控制技术设计的运动型机器人，模仿人行驶，在移动时先将负重抬高水平移动，交替重复动作，可以完成任务，采用机械结构的设计和研究，足式行走装置能工作平稳，正常运行，但是足式装置要求高，对其软件和硬件上的设计要求都很高，操作、制作和设计都比较麻烦，而且足式装置移动缓慢，幅度较小。图11(c)为足式行走机构

### 4) 复合类行走机构

基于履带、轮、足移动机器人的特点，在研究中将履带、轮组、足式三种技术结合在一起<sup>[11]</sup>，通过三种技术共同协作完成跨越路面障碍任务，对其设计和控制的要求更高，设计和控制需要满足各方面的要求，如何操作省力，如何用几个方式适应同一种尺寸的问题依然存在。图11(d)为复合轮足行走机构。

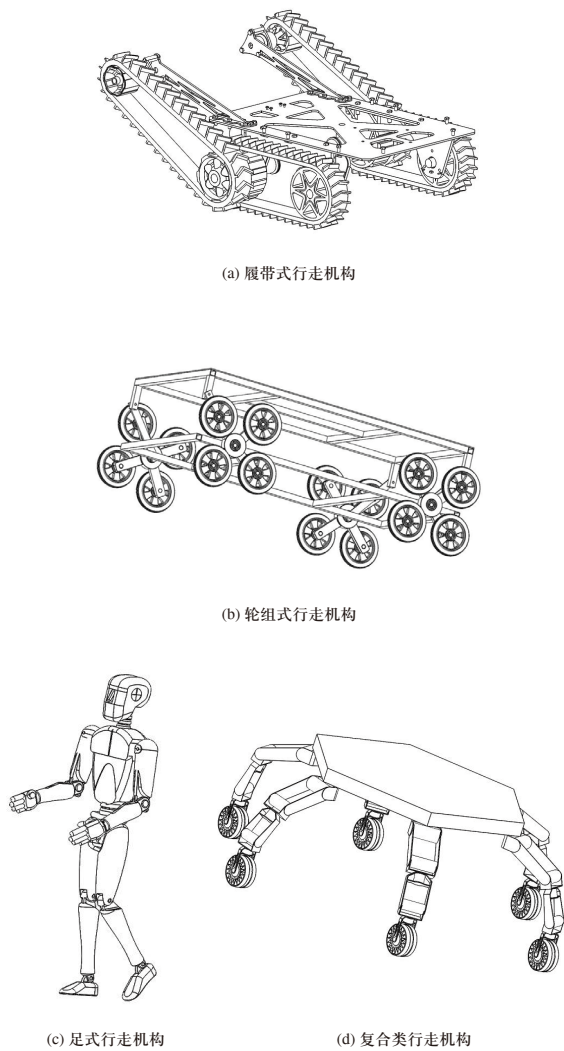


图11 不同移动方式机构机器人

## 5 结语

智能跟随移动机器人是机器人领域的一个重要分支,与传统机器人相比,智能跟随机器人拓展了传统机器人的研究方向和应用领域,其研究涉及到传感器技术、图像处理技术、GPS技术和运动学等多学科交叉融合,智能跟随技术也变得越来越成熟。目前,对智能跟随移动机器人的研究还存在许多不足,其关键问题主要包括复杂环境判断、记忆推理能力和感知外界能力,因此在今后的研究中,研究主要集中在以下几个方面:

1) 提高智能跟随移动机器人对环境的适应性,目前智能跟随技术在多变复杂的环境中,特别在昏暗、雨雪雾的天气中,传感器捕捉到的信号弱,摄像头接收不到图像信息,无法准确获得目标物体信号,导致目标物体丢失。

2) 利用多种传感器融合技术,传感器的融合可以

弥补单一传感器技术功能缺陷,利各种传感器协同工作,提高控制技术和路径规划。

3) 改善异常情况下的鲁棒性,提高智能跟随移动机器人的学习能力、推理能力和抗干扰能力,减少重复错误和完善程序记忆。

通过对智能跟随移动机器人的关键技术的研究,提高机器人的性能,保证机器人的稳定性,不断完善机器人控制系统的研究和机械结构设计性能分析,达到高效、节能,便利等特点,延伸机器人对外界环境的感知,促进服务机器人技术的研究,对未来拓宽机器人空间技术具有重要的意义。

## 参考文献:

- [1] 王丽苹.机器人技术变迁及产业发展战略研究—以天津市为例[D].天津:天津大学,2015.
- [2] 程熙.基于深度图像的室内移动机器人行人跟随[D].湖南大学,2018.
- [3] 鞠玉翠.基于视觉的目标检测和跟踪关键算法的研究[D].天津理工大学,2014.
- [4] 王敏,张会杰,苏琳,王洪光.通过专利分析看我国机器人技术发展的挑战与机遇[J].制造业自动化,2013,35(17):5-9.
- [5] 江龙.基于SURF特征的单目视觉SLAM技术研究与应用[D].南京理工大学,2012.
- [6] 董辉,王亚男,童辉,等.基于自适应Kalman滤波的移动机器人人体目标跟随[J].高技术通讯,2019,29(3):249-256.DOI:10.3772/j.issn.1002-0470.2019.03.006.
- [7] 魏豪左.基于深度视觉的室内移动机器人SLAM算法研究[D].兰州理工大学,2016.
- [8] 刘承磊,赵斌,葛忠迪.基于超声波与红外感应的智能跟随旅行箱[J].电子世界,2018,(9):170,172.
- [9] 王子发.扫地机器人自主定位算法的研究与应用[D].上海:东华大学,2017.
- [10] 郑猛.红外多目标跟踪技术研究[J].科技创业月刊,2012,(11):189-190.
- [11] 齐新皓,苏秀云,马国,等.单目视觉自动跟随小车的设计[J].机器人技术与应用,2018,(5):42-44.
- [12] 王欣,徐智,陶凤,等.基于超声波测距的跟随小车设计[J].电脑知识与技术,2016,12(17):246-247,257.
- [13] 丁世豪,李光顺,刘鹏坤,等.基于蓝牙4.0的自动跟踪智能行李箱设计[J].电子技术,2018,47(5):47-49.DOI:10.3969/j.issn.1000-0755.2018.05.014.
- [14] 蒋伟.基于GPS定位的智能跟随小车设计[J].数字化用户,2018,24(7):44-45.
- [15] 王公博.工业机器人重新定义工厂[J].互联网经济,2019(Z1):26-31.
- [16] 徐昱琳,陈灵,李昕,等.远程巡诊服务机器人系统设计[J].系统仿真学报,2018,30(9):3238-3248.DOI:10.16182/j.issn1004731x.joss.201809002.
- [17] 潘桂彬.轮式机器人控制系统的研究与设计[D].江苏:江南大学,2015.